

リアル空間を強靱にするハードウェアの未来  
2022 年度採択研究代表者

2022 年度  
年次報告書

澁谷 達則

産業技術総合研究所 計量標準総合センター  
研究員

半導体ハードウェアセキュリティを強化するナノ X 線源の開発

## 研究成果の概要

本研究では、従来技術では不可能なナノメートル光源サイズの X 線を発生させるため、新しい液体金属を用いた X 線標的を提案した。このナノ液体金属 X 線標的を実現するためには、主に、電子銃と液体金属システム、レーザー光源開発を行う必要がある。本年度は、電子銃の設計として、電子を標的に強く集束させるためのソレノイド電磁石のシミュレーションを行なった。シミュレーションは電子が受ける磁場分布とその磁場による電子軌道の 2 つの計算を行なった。ソレノイド電磁石の静磁場分布は電磁石形状が軸対称構造であるため、2次元の有限要素法を用いて計算し、500 ターン、電流は 2.1 A で最大磁場強度 110 mT の計算結果を得た。この計算から得られた静磁場分布を取り込んだ電子の磁場中での運動方程式をルンゲ・クッタ法を用いて帰還的に計算し、X 線発生位置での電子ビームの収束性を評価した。このとき、計算にはクローン反発力を考慮した。現在、この計算結果に基づいたソレノイド電磁石の製作を行なっている。また、完成後の磁場計測に向けた 3 軸磁場測定用の測定システムについても検討した。

また、液体金属システムの開発では、液体金属を連続的に供給することのできるシステムを構築した。まずはシステムの動作を確認するために、ダミー標的としてクリーン度の高い超純水をフローしながらレーザーでの照射を行い、その様子を構築した光学式カメラシステムで撮影した。レーザー衝撃による水の形状変化を撮影速度 1 億フレーム毎秒(fps)で計測することができた。今後、撮影速度や空間分解能などをさらに向上させることで、水の形態変化をサブミクロンスケールでとらえ、液体金属のナノ球体生成とその計測へと発展させてゆく。

レーザー光源の開発では、フェムト秒レーザー光源からのパルスをもとに 2 つに分岐し、一方を電子発生させるための紫外線発生用の光路、もう一方をナノ液滴発生させるための光路として開発した。具体的には、波長 266 nm の紫外線発生のために Type I のベータホウ酸バリウム(BBO)結晶に基本波を入射することで第 2 次高調波を発生させ、さらに基本波と第 2 次高調波を、偏光状態を制御して Type I の BBO 結晶に入射することで第 3 次高調波を発生させた。これらを適切なダイクロイックミラーを複数用いて、第 3 次高調波の成分のみを取り出した。